

## СТАТУС ЭЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТА ИТЭР<sup>\*)</sup>

<sup>1</sup>Устинов А.Л., <sup>2</sup>Денисов Г.Г., <sup>2</sup>Еремеев А.Г., <sup>1</sup>Красильников А.В., <sup>3</sup>Попов Л.Г.,  
<sup>3</sup>Тай Е.М., <sup>2</sup>Фокин А.П.

<sup>1</sup>ЧУ "Проектный центр ИТЭР", Москва, РФ, [a.ustinov@iterrf.ru](mailto:a.ustinov@iterrf.ru)

<sup>2</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород, РФ, [aeremeev@ipfran.ru](mailto:aeremeev@ipfran.ru)

<sup>3</sup>НПП ГИКОМ, Нижний Новгород, РФ, [tai@gycom-nn.ru](mailto:tai@gycom-nn.ru)

Электронно-циклотронная система наряду с ионно-циклотронной и нейтральными пучками входит в число систем дополнительного нагрева проекта ИТЭР. В проекте было запланировано использовать 24 гиротрона с выходной мощностью около 1 МВт каждый, два блока ионно-циклотронного нагрева по 20 МВт и два источника нейтральных пучков по 16 МВт с энергией атомов до 1 МэВ. Все системы считались перспективными не только для нагрева компонент плазмы, но и для генерации или поддержания тороидального тока. Для электронно-циклотронной системы (ЕЦ) ставились дополнительные функции по пробою и стартовому формированию плазмы, а также подавлению МГД неустойчивостей, что предполагало использования гиротронов в частотном режиме до 5 кГц. Необходимо отметить, что упомянутые перспективы были связаны с ожиданиями успешного развития образцов техники для всех трех методов и возможности их применения для целей термоядерной плазмы. Однако, к настоящему моменту из всех методов только гиротроны достигли запланированных параметров. Поэтому, а также в связи с изменением материала первой стенки реактора на вольфрам планируется увеличить мощность гиротронного комплекса в 2 раза к первому этапу работы ИТЭР (Augmented First Plasma) и далее к следующей фазе(DT1) довести общее количество гиротронов до 72. Электронно-циклотронная система функционально состоит из высоковольтных источников (HVPS), гиротронов удаленных на расстояние более 100 м в область слабых рассеянных полей токамака, линий передачи (TL) и формирователей излучения(Launcher Equatorial, Upper), расположенных в экваториальном и верхних патрубках токамака. Высоковольтные источники и гиротронные комплексы с системой управления расположены в здании В15, линии передачи проходят по зданию 13, примыкающему к зданию токамака В11. Высоковольтные источники, каждый на 2 гиротрона ( с выходной мощностью до 6 МВт) находятся в ответственности Европы и Индии в равных долях. Поставка гиротронов, которая включает установку и настройку оборудования, распределена между Японией-8 шт., РФ- 8 шт., Европой-6 шт. и Индией- 2шт. Линию передачи в сборочных элементах готовит США. Формирователи излучения в плазму в ответственности Европы. Вся инфраструктура комплекса находится в ответственности Европы. В 2024г планируется начать монтаж основного оборудования ЭЦ системы. Приведем основные технические характеристики гиротронов производства НПП ГИКОМ: мощность на выходе алмазного окна не менее 1 МВт, частота 170 ГГц, к.п.д. не менее 50% (реально до 57%), содержание моды HE11 на входе в линию передачи не менее 95%, длительность импульса не менее 1000с с надежностью более 95% и др.

Работа выполнена на средства Госконтрактов ГК Росатом.

<sup>\*)</sup> [DOI – тезисы на английском](#)